

Ю. В. Тугбаев*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

*chilly_willy1@mail.ru

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук Ю. Н. Логинов

ВЫБОР УСЛОВИЯ ТЕКУЧЕСТИ ПРИ АНАЛИЗЕ ДЕФОРМАЦИИ ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Рассмотрены схемы деформации образцов из циркониевых сплавов, имеющих гексагональную плотноупакованную решетку, основанные на условии текучести Р. Хилла.

Ключевые слова: цирконий, гексагональная плотноупакованная решетка, испытание механических характеристик.

Yu. V. Tugbaev

SELECTION OF YIELD CONDITION IN THE ANALYSIS OF THE ZIRCONIUM ALLOYS DEFORMATION

A study of zirconium alloy samples for mechanical characteristics testing which has hexagonal close-packed lattice based on the R.Hill's yield condition were provided.

Keywords: zirconium, hexagonal close-packed lattice, mechanical characteristics testing.

Для описания деформации анизотропных металлов с изотропным упрочнением наиболее широкое распространение получило условие текучести Р.Хилла, которое выглядит следующим образом:

$$H(S_{xx} - S_{yy})^2 + F(S_{yy} - S_{zz})^2 + G(S_{zz} - S_{xx})^2 + 2N \cdot S_{xy}^2 + 2L \cdot S_{yz}^2 + 2M \cdot S_{zx}^2 = 1, \quad (1)$$

где $S_{ij} (i, j = x, y, z)$ – компоненты девиатора напряжений, H, F, G, N, L, M – параметры анизотропии, которые можно определить по формулам:

$$H = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sigma_{sx}^2} + \frac{1}{\sigma_{sy}^2} - \frac{1}{\sigma_{sz}^2} \right); G = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sigma_{sy}^2} + \frac{1}{\sigma_{sz}^2} - \frac{1}{\sigma_{sx}^2} \right); F = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sigma_{sz}^2} + \frac{1}{\sigma_{sx}^2} - \frac{1}{\sigma_{sy}^2} \right); \quad (2)$$

$$N = \frac{1}{2\tau_{sxy}^2}; L = \frac{1}{2\tau_{syx}^2}; M = \frac{1}{2\tau_{syz}^2}, \quad (3)$$

где $\sigma_{si} (i = x, y, z)$ и $\tau_{sij} (i, j = x, y, z)$ – сопротивление деформации, измеренное в заданных направлениях.

Циркониевые сплавы имеют гексагональную кристаллическую решетку, в чем они похожи на альфа-титановые сплавы, деформация которых обсуждалась в работах [1–4].

Как и в случае изотропного материала для нахождения механических характеристик материала потребуется проведение опытов с той разницей, что опыты придется провести, испытывая материал не в одном направлении, а в нескольких. Это в большой степени затрудняет оценку свойств материала, например, для испытания на растяжение придется вырезать стандартные образцы из полуфабриката, имеющего большую протяженность в одном направлении и малую протяженность в двух других направлениях. В результате размер полуфабриката может оказаться меньше требуемой длины образца. Именно поэтому в [5] предложено применять образцы в форме куба, которые легко переориентировать в пространстве, а испытания проводить не на растяжение, а на осадку. Однако и такие опыты остаются довольно трудоемкими, потому что требуют изготовления большого количества образцов, различно ориентированных в пространстве. Поэтому актуальной задачей является сокращение количества измерений характеристик анизотропного материала.

Эта задача была решена в публикации [6], где было предложено рассмотреть деформацию металлов в состоянии гексагональной кристаллической решетки с идеальной и одинаковой ориентацией призм, имеющих в основании шестиугольник, в пространстве. При этом удалось выявить направления, в которых вследствие симметрии, связи между компонентами девиатора напряжений и тензора деформаций оказываются одинаковыми.

В частности, в условиях одноосного напряженного состояния получим при ориентации оси призмы вдоль оси z $F = \frac{1}{2\sigma_{zz}^2}$; $H + F = \frac{1}{2\sigma_{xx}^2}$;

$H + F = \frac{1}{2\sigma_{yy}^2}$. Ориентировка кубической заготовки с указанием

ориентации кристаллитов показана на рисунке. Из последнего набора формул видно, что следует найти две неизвестные величины H и F при возможном наличии трех измеренных напряжений. Таким образом, система уравнений оказывается переопределена. Более экономичным вариантом проведения опытов является следующий порядок их осуществления. Определяется преимущественная ориентация текстуры в направлении, перпендикулярном базисным плоскостям, в этом направлении образец подвергается осадке, находится величина σ_{zz} и из

уравнения $F = \frac{1}{2\sigma_{zz}^2}$ определяется параметр F . Следующий опыт проводится нагружением в ортогональном направлении, определяется величина σ_{xx} или σ_{yy} . С учетом уже известного значения F из уравнения $H + F = \frac{1}{2\sigma_{xx}^2}$ определяется величина H .

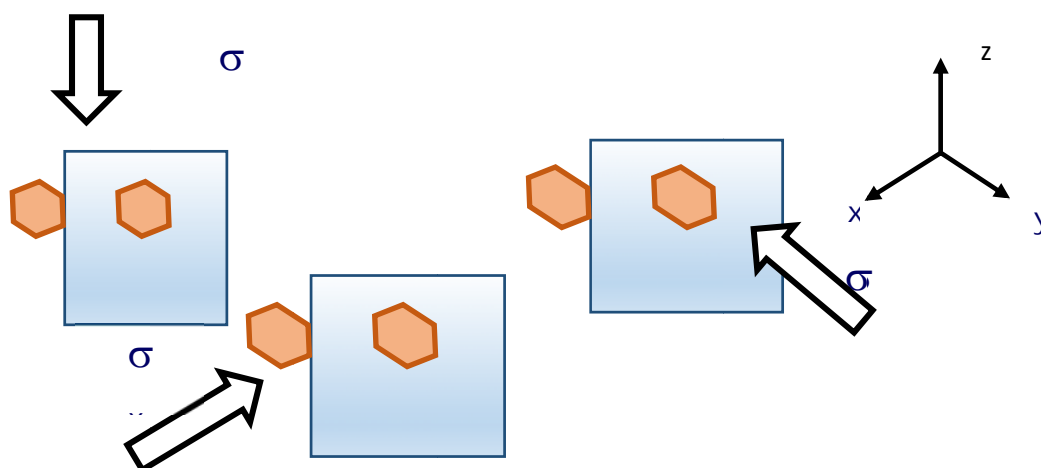


Рис. Варианты испытаний материала с ГПУ-решеткой для определения параметров H и F

Это позволяет решить краевые задачи, в которых ограничено применение параметров анизотропии этими двумя величинами.

Более распространенным чем осадка методом перевода металла в состояние пластичности является внедрение индентора при определении твердости. Если бы существовали надежные методы пересчета параметров твердости на сопротивление деформации, то такой вид испытания оказался бы более экономичным. В качестве примера можно привести исследования, в которых характеристики твердости определялись при изменении направления перемещения индентора [7].

В более сложных случаях, в том числе при применении метода конечных элементов[8, 9] придется находить все параметры анизотропии, входящие в условие текучести Хилла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Логинов Ю. Н. Схема деформирования альфа-титановых сплавов для получения полых заготовок с повышенной интенсивностью радиальной текстуры / Ю. Н. Логинов, А. А. Ершов // Титан. 2014. № 2 (44). С. 30–35.

2. Логинов Ю. Н. Проявления анизотропии в процессах деформации альфа-сплавов титана / Ю. Н. Логинов, В. В. Котов. Екатеринбург : УрФУ. 2009. 189 с.
3. Логинов Ю. Н. Обоснование влияния анизотропии на разнотолщинность холоднокатаных труб из титанового сплава / Ю. Н. Логинов, В. Г. Смирнов, В. В. Котов // Производство проката. 2008. № 2. С. 28–31.
4. Логинов Ю. Н. Аналитическое исследование с использованием МКЭ прессования α -титановых сплавов и прогнозом ориентации текстуры / Ю. Н. Логинов, А. А. Ершов // Технология легких сплавов. 2012. № 3. С. 79–87.
5. Loginov Yu. N. Rheological characteristics of extruded tube from GRADE 9 titanium alloy / Yu. N. Loginov, V. G. Smirnov, V. V. Kotov // Stainless steel world, 2006. V.18. P. 51–55.
6. Логинов Ю. Н. Преобразование условия текучести при деформации металлических материалов с ГПУ-решеткой / Ю. Н. Логинов, В. Д. Соловей, В. В. Котов // Металлы. 2010. № 2. С. 93–99.
7. Логинов Ю. Н. Механические свойства сложнолегированной латуни $\text{CuZn30Al2Mn3SiNiCr}$ в горячепрессованном состоянии / Ю. Н. Логинов, Ю. А. Шешукова, О. А. Хакимова // Цветные металлы. 2017. № 8. С.83–88.
8. Логинов Ю. Н. Моделирование процесса прессования трубной заготовки из титанового сплава в программе QFORM 2D/3D / Ю. Н. Логинов, В. В. Котов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2010. № 12. С. 36–40.
9. Логинов Ю. Н. Метод конечных элементов в описании напряженно деформированного состояния процесса прессования / Ю. Н. Логинов, В. В. Котов. Екатеринбург : УрФУ. 2010. 320 с.